

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-181389

(43)Date of publication of application : 11.07.1997

(51)Int.Cl. H01S 3/18

(21)Application number : 07-339697

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 26.12.1995

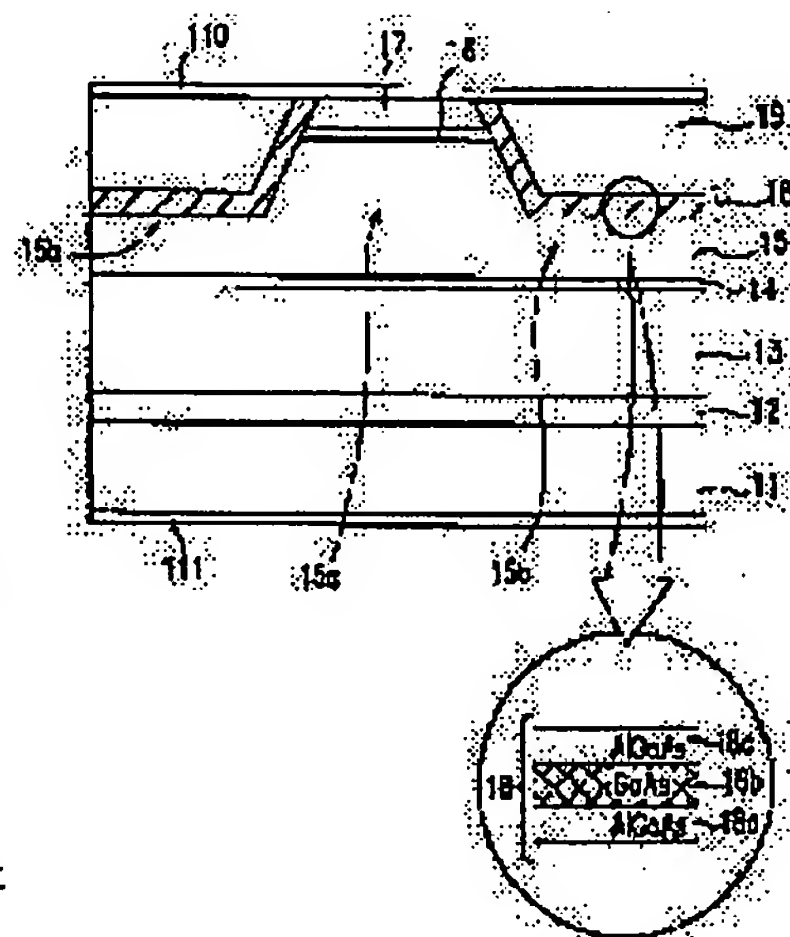
(72)Inventor : SUGA YASUO
TANI KENTARO
TAKEOKA TADASHI
SUGAWARA AKIYOSHI

(54) SELF-EXCITED SEMICONDUCTOR LASER DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor laser device which is of low noise and capable of operating stably at high temperatures keeping a vertical radiation angle θ small.

SOLUTION: A self-excited semiconductor laser device is equipped with a first conductivity-type semiconductor substrate 11 and a laminated structure which is formed on the substrate 11 including an active layer 14. The laminated structure includes a first conductive first clad layer 13 provided below the active layer 14, a second conductivity-type second clad layer 15 provided above the active layer 14 and possessed of a stripe-like ridge, and a saturable absorption film 18. The saturable absorption film 18 is equipped with a storage region 18b which stores optical excitation carriers and is provided apart from the surface of the second clad layer 14.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.07.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3199158

[Date of registration] 15.06.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-181389

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int. Cl.

識別記号

片内整理番号

P I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-339697

(22) 出願日 平成7年(1995)12月26日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 菅 康夫

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72) 発明者 谷 健太郎

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72) 発明者 竹岡 忠士

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(74) 代理人 弁理士 山本 秀晃

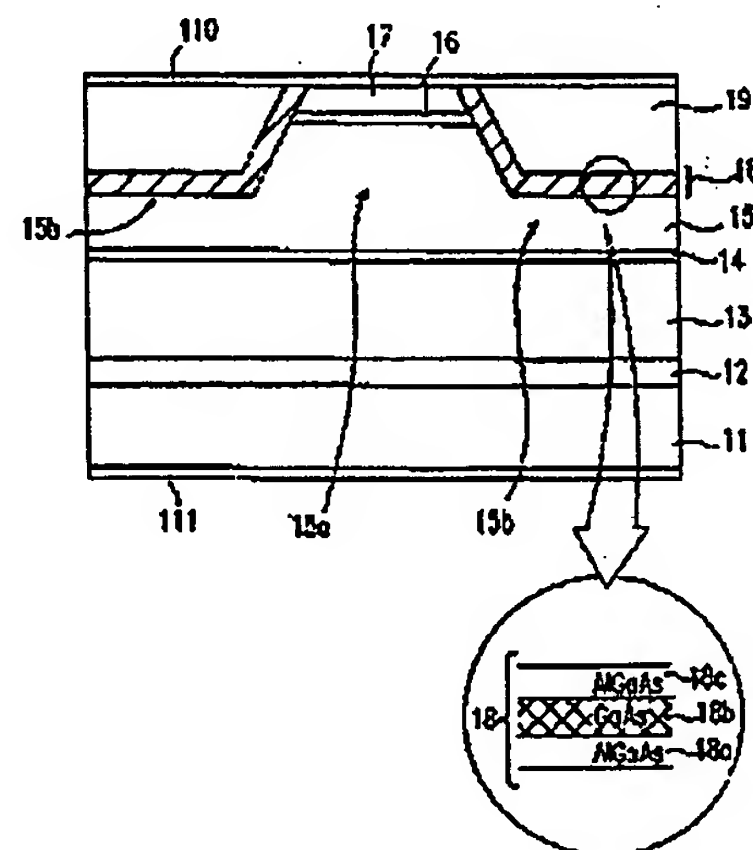
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自励発振型半導体レーザ装置

(57) 【要約】

【課題】 垂直方向放射角 $\theta \perp$ を小さく維持したまま、高温で安定に動作する低雑音の自励発振型半導体レーザ装置を提供する。

【解決手段】 第1導電型の半導体基板11と、半導体基板11上に設けられ、活性層14を含む積層構造とを有する自励発振型半導体レーザ装置であって、積層構造は、活性層14の下方に設けられた第1導電型の第1クラッド層13と、活性層14の上方に設けられ、ストライプ状リッジ部分を有する第2導電型の第2クラッド層15と、第2クラッド層15上に設けられた可飽和吸収膜18とを含んでいる。可飽和吸収膜18は、光励起キャリアを蓄積する蓄積領域18bを有し、蓄積領域18bは、第2クラッド層14の表面から離れた位置に設けられている。



(2)

特開平9-181389

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1導電型の半導体基板と、該半導体基板上に設けられ、活性層を含む積層構造とを備えた自励発振型半導体レーザ装置であって、
該積層構造は、

該活性層の下方に設けられた第1導電型の第1クラッド層と、該活性層の上方に設けられ、ストライプ状リッジ部分を有する第2導電型の第2クラッド層と、該第2クラッド層上に設けられた可飽和吸収膜とを含んでおり、
該可飽和吸収膜は、光励起キャリアを蓄積する整積領域を有し、該蓄積領域は、該第2クラッド層の表面から離れた位置に設けられている自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項2】 前記可飽和吸収膜は、第1のバンドギャップを有する第1の障壁半導体層と、該第1のバンドギャップよりも小さな第2のバンドギャップを有する井戸半導体層と、該第2のバンドギャップよりも大きな第3のバンドギャップを有する第2の障壁半導体層とを含んでいる請求項1に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項3】 前記蓄積領域中の光励起キャリアが、前記可飽和吸収膜と前記第2のクラッド層との界面に存在する非発光結合中心によって再結合しないように、前記第1の障壁半導体層の厚さが設定されている請求項2に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項4】 前記第1の障壁半導体層の厚さは、約10nm以上である請求項3に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項5】 前記第1半導体層は第1のAlGaAsから形成され、

前記第2半導体層はGaAsから形成され、前記蓄積領域として機能し、

前記第3半導体層は第2のAlGaAsから形成されている。請求項2に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項6】 前記可飽和吸収膜は、多量重子井戸構造を有しており、該多量重子井戸構造中の複数の井戸層が前記蓄積領域として機能する、請求項1に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項7】 レーザ光を吸収する半導体埋込層が前記可飽和吸収膜上に設けられている、請求項1から5に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項8】 前記半導体埋込層はGaAsから形成されている、請求項7に記載の自励発振型半導体レーザ装置。

【請求項9】 前記第2クラッド層には、約 1×10^{18} cm⁻³以上の第2導電型不純物がドーピングされている、請求項1に記載の自励発振型半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自励発振型半導体レーザ装置に関し、更に詳細には、光ディスク等の記録

2

再生用光源に適用した低雑音の自励発振型半導体レーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】単一軸モードで発振する半導体レーザ装置に、光ディスク等によって反射されたレーザ光が入射すると、光干渉のために発振状態が不安定に変化し、雑音の原因となる。このような雑音は、「戻り光による雑音」と呼ばれ、半導体レーザ装置を光ディスク等の広く再生用光源に使用する場合の大きな支障となる。

【0003】この戻り光による雑音を低減するために、半導体レーザ装置の駆動電流に高周波を重畳させることが行われてきた（高周波重畳法）。駆動電流に高周波が重畳されると、高周波の位相に同期したレーザ光パルス列が生成されることになる。その際、レーザ発振モードが極めて短い時間（例えば、約2ナノ秒の間）に変化し、それに応じてレーザ光パルス列の波長が僅かな範囲（例えば、中心波長±2nm）内で不連続に変化する。その結果、レーザ光が半導体レーザ装置に戻ってきた時刻において発振状態にあるレーザ光と戻り光との間で可干渉性（コヒーレンス）が失われ（非コヒーレント化）、レーザ発振状態の不安定な変動が抑制される。その結果、戻り光による雑音の発生が防止される。

【0004】しかし、この方法によれば、高周波電流を生成するための回路が特別に必要となるため、半導体レーザ装置を組み込むべき装置（例えば、光ディスクの再生装置）の小型化に適していなかった。

【0005】近年、半導体レーザ装置の自励発振（セルフパルスセーション）という現象を利用して、高周波電流生成のための回路が不要となる半導体レーザ装置が開発されつつある。このような半導体レーザ装置は、自励発振型半導体レーザ装置と呼ばれ、可飽和吸収領域を半導体レーザ装置の光導波路部分内に備えている。自励発振型半導体レーザ装置では、駆動用直流電流に高周波電流を重畳しなくとも、可飽和吸収領域の働きによってレーザ発振モードが極めて短い時間に周期的に変化し、前述の低雑音化が達成される。

【0006】以下に、図面を参照しながら、自励発振型半導体レーザ装置の従来例を説明する。

【0007】図8の半導体レーザ装置は、n型GaAs基板41と、その上に成長した半導体積層構造とを備えている。この半導体積層構造は、基板側から順番に、n型のバッファ層42、n型の第1クラッド層43、活性層44及びp型の第2クラッド層45を含んでいる。第2クラッド層45は、ストライプ状リッジ部分を有しており、そのリッジ部分の両側（非リッジ部分）は、リッジ部分より薄くなっている。第2クラッド層45のリッジ部分の上には、p型中間層46を介して、p型コンタクト層47が形成されている。ストライプ状リッジの両側には、n型のGaAs埋込層49が形成されている。光の水平偏方向に関する閉じ込めは、リッジのある部分

(3)

特開平9-181389

3

と無い部分との間に形成される等価的な屈折率差によって造成される。半導体積層構造の上面にはp側電極410が設けられており、基板41の裏面にはn側電極411が設けられている。両電極410及び411の間には、レーザ光生成に必要なキャリアを活性層44に注入するための電圧が印加される。

【0008】p型の半導体層とn型のGaAs埋込層49との間のpn接合には逆バイアスが印加されるため、電流はGaAs埋込層49を流れず、ストライプ状リッジ部分に挟まれる。その結果、電流は、活性層44のうち選択された領域（ストライプ状リッジの直下に位置する領域）を流れる。活性層44のうち、所定のレベルを超える大きさの電流が流れる領域はレーザ光に対して「利得領域」として機能するが、それ以外の領域は「可飽和吸収領域」として機能する。以下、この可飽和吸収領域の働きを説明する。

【0009】可飽和吸収領域はレーザ光に対する利得領域としてではなく、吸収領域として機能するが、その吸収する程度（光吸収量）は、可飽和吸収領域中に存在する光励起キャリアの密度に依存する。ここで、「光励起キャリア」とは、レーザ光を吸収することによって価電子帯から伝導帯へ励起された電子およびホールを意味する。図9は、光吸収量と光励起キャリア数（密度）との関係を示している。図9からわかるように、光吸収量は、光励起キャリア密度が高くなるほど低下し、光励起キャリア密度が低くなるほど増加する。可飽和吸収領域の光吸収量が周期的に変動すれば、半導体レーザ装置の内部損失も周期的に変動するので、レーザ発振に必要な閾値電流密度も周期的に変動する。その結果、駆動電流が一定に維持されていても実質的に駆動電流を変化させた効果と同様の効果が現れ、自励発振が達成される。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の従来技術においては、以下に説明する問題がある。

【0011】レーザ光は、活性層44の利得領域だけでなく、その外側に位置する可飽和吸収領域にも広がって分布する。自励発振のためには、レーザ光の分布領域と可飽和吸収領域との重複部分を出来る限り広くすることが要求される。そのためには、活性層44を厚くすることによって可飽和吸収領域を大きくするか、あるいは、第2クラッド層45の非リッジ部分を厚くすることによってレーザ光の分布領域を水平横方向に拡大する必要がある。

【0012】このようにして、レーザ光の分布領域と可飽和吸収領域との重複部分を広くすると、以下に述べる2つの点で問題が生じる。

【0013】まず、第1に、活性層44を厚くすると、垂直方向の光閉込効果が強くなる結果、レーザ光の垂直方向放射角 θ_1 が広がってしまうという問題がある。レーザ光の水平方向放射角 θ_2 は、典型的には、8～10

4

であり、これはストライプ状リッジの幅によって決定される。これに対して、レーザ光の垂直方向放射角 θ_1 は、活性層44の厚さに依存し、活性層44が自励発振達成のために必要な厚さを持つ場合、約40°にもなる。垂直方向放射角 θ_1 が大きいほど、放射されたレーザ光の楕円率は大きくなる。楕円率が大きくなりすぎると、レンズによる集光効率が低下するなどして、光ディスク用光源として不利となる。一方、楕円率の低下を目的として、活性層44を薄くすると、今度は、自励発振が生じなくなる。例えば、井戸層の厚さが8nmの多量量子井戸（MQW）構造を持つ活性層を用いた場合、自励発振のためには、井戸層の数は8以上であることが必要であり、7以下では自励発振が生じないという実験結果もある。光ディスク用光源として好ましい楕円率を得るには、井戸層数は7以下であることが好ましい。

【0014】次に、第2クラッド層45のドーピングレベルに関する問題がある。

【0015】一般的に、第2クラッド層45の不純物のドーピングレベルを高くすることによって、活性層44からのキャリアのオーバーフローが抑制されることが知られている。キャリアのオーバーフローは、半導体レーザ装置の動作温度が高くなるほど、生じやすくなる。キャリアの持つ運動エネルギーが増加するからである。キャリアが活性層44からオーバーフローすると、無効電流が増加するため、動作電流が増加してしまう。キャリアのオーバーフローを抑制するためには、第2クラッド層45の不純物のドーピングレベルを高くすることによって、活性層44に対する第2クラッド層45の障壁高さを大きくすることが有効な手法として知られている。

【0016】しかしながら、図8の半導体レーザ装置において、第2クラッド層45のドーピングレベルを高くすると、第2クラッド層45の電気抵抗率が低下するため、第2クラッド層45の非リッジ部分を電流が水平横方向に広がって流れることになる。例えば、第2クラッド層45に約 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以上のp型不純物をドーブすれば、自励発振を達成することはできなくなる。理由は、可飽和吸収領域に電流が流れ込むと、そこに利得が生じるために光吸収機能が失われ、その結果、可飽和吸収領域として機能しなくなるからである。より正確には、可飽和吸収領域として機能しえる領域が、レーザ光の分布領域から遠ざかる方向に移動し、レーザ光と可飽和吸収領域との相互作用の程度が著しく低下するからである。従って、図8に示すような半導体レーザ装置においては、第2クラッド層45の不純物のドーピングレベルを高くすることはできない。そのため、従来の自励発振型半導体レーザ装置によれば、キャリアオーバーフローのために高温動作が困難であった。

【0017】本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、垂直方向放射角 θ_1 を小さく維持したまま、高温で安定に動作する

(4)

特開平9-181389

5

低雑音の自励発振型半導体レーザ装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の自励発振型半導体レーザ装置は、第1導電型の半導体基板と、該半導体基板上に設けられ、活性層を含む積層構造とを備えた半導体レーザ装置であって、該積層構造は、該活性層の下方に設けられた第1導電型の第1クラッド層と、該活性層の上方に設けられ、ストライプ状リッジ部分を有する第2導電型の第2クラッド層と、該第2クラッド層上に設けられた可飽和吸収膜とを含んでおり、該可飽和吸収膜は、光励起キャリアを蓄積する蓄積領域を有し、該蓄積領域は、該第2クラッド層の表面から離れた位置に設けられ、そのことにより上記目的を達成することができる。

【0019】ある実施形態では、前記可飽和吸収膜は、第1のバンドギャップを有する第1の障壁半導体層と、該第1のバンドギャップよりも小さな第2のバンドギャップを有する井戸半導体層と、該第2のバンドギャップよりも大きな第3のバンドギャップを有する第2の障壁半導体層とを含んでいる。

【0020】前記蓄積領域中の光励起キャリアが、前記可飽和吸収膜と前記第2のクラッド層との界面に存在する非発光結合中心によって再結合しないように、前記第1の障壁半導体層の厚さは設定されていることが好ましい。前記第1の障壁半導体層の厚さは、約10nm以上であることが好ましい。

【0021】ある実施形態では、前記第1半導体層は第1のAlGaAsから形成され、前記第2半導体層はGaAsから形成され、前記蓄積領域として機能し、前記第3半導体層は第2のAlGaAsから形成されている。

【0022】ある実施形態では、前記可飽和吸収膜は、多重量子井戸構造を有しており、該多重量子井戸構造中の複数の井戸層が前記蓄積領域として機能する。

【0023】ある実施形態では、レーザ光を吸収する半導体埋込層が前記可飽和吸収膜上に設けられている。前記半導体埋込層はGaAsから形成されていてもよい。

【0024】前記第2クラッド層には、約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の第2導電型不純物がドーピングされていることが好ましい。

【0025】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態を説明する。

【0026】本発明の半導体レーザ装置は、活性層とは別にストライプ状リッジ構造の外側に設けられた可飽和吸収膜（可飽和吸収領域）を備えている。この可飽和吸収膜は、光励起キャリアを蓄積する領域を内部に有しており、この蓄積領域は上部クラッド層（第2クラッド層）の表面（再成長界面）から離れている。このような

6

蓄積領域は、可飽和吸収膜内で生じた励起キャリアを埋込層内部へ逃がすことなく、可飽和吸収膜中に蓄積するため、自励発振を引き起こすことができる。特に、励起キャリアが、再成長界面から離れた位置に蓄積される結果、非発光再結合中心にトラップされることがなく、可飽和吸収領域としての高い機能を発揮することができる。

【0027】以下に、図面を参照しながら、本発明の実施例を説明する。

【0028】（実施例1）まず、本発明をAlGaInP系の半導体レーザ装置に適用した実施例を図1を参照しながら説明する。

【0029】図1の半導体レーザ装置は、n型（第1導電型）のGaAs基板11と、その上にエピタキシャル成長した複数の半導体層を含む半導体積層構造とを備えている。

【0030】半導体積層構造は、基板11の側から順次に、n型のGaAsバッファ層（n型不純物：Si、不純物濃度： $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ：200nm）12、n型の（Al_{0.1}Ga_{0.9}）_{0.5}In_{0.5}P第1クラッド層（n型不純物：Si、不純物濃度： $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ：1200nm）13、GaInP活性層（厚さ：400nm）14及びp型（第2導電型）の（Al_{0.1}Ga_{0.9}）_{0.5}In_{0.5}P第2クラッド層（p型不純物：Be、不純物濃度：約 $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ：1200nm）15を含んでいる。

【0031】第2クラッド層15は、この実施例では、幅3.5から4.5μmのストライプ状リッジ部分15aを有しており、そのリッジ部分15aの両側は、リッジ部分より薄くなっている。リッジ部分の幅は、水平方向に沿う利得領域の分布幅、ひいてはレーザ光のビーム幅を決定する。第2クラッド層15のうち、このように薄くなっている部分を、便宜上、クラッド層の「非リッジ部分（15b）」と称することとする。第2クラッド層15の厚さは、リッジ部分15aにおいては、約0.8～1.2μmで、非リッジ部分15bでは、約0.10～0.25μmである。可飽和吸収膜へ光を分布させるという観点から非リッジ部分15bの厚さは、約0.10～0.15μmの範囲内にあることが好ましい。

【0032】第2クラッド層15のリッジ部分15aの上には、p型GaInP中間層（p型不純物：Be、不純物濃度： $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ：50nm）16を介して、p型GaAsコンタクト層（p型不純物：Be、不純物濃度： $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ：500nm）17が形成されている。第2クラッド層15のリッジ部分15a、p型中間層16及びp型コンタクト層17によって、「ストライプ状リッジ構造」が形成され、電流の狭窄経路となっている。

【0033】ストライプ状リッジ構造の両側面、および

(5)

特開平9-181389

7

第2クラッド層15の非リッジ部分15bの表面は、可飽和吸収膜18によって覆われている。本実施例の可飽和吸収膜18は、第1のAl_{0.5}Ga_{0.5}As層(n型不純物:Si、不純物濃度:1×10¹⁸cm⁻³、厚さ:約20nm)18a、GaAs層(n型不純物:Si、不純物濃度:2×10¹⁸cm⁻³、厚さ:約30nm)18b及び第2のAl_{0.5}Ga_{0.5}As層(n型不純物:Si、不純物濃度:1×10¹⁸cm⁻³、厚さ:約20nm)18cを積層した構成を有している。可飽和吸収膜18は、本発明の半導体レーザ装置において重要な働きをするので、可飽和吸収膜18の構成と働きについては、あとで詳細に説明する。

【0034】可飽和吸収膜18上には、ストライプ状リッジ構造を埋め込むように、n型のGaAs埋込層(n型不純物:Si、不純物濃度:1×10¹⁸cm⁻³、厚さ:1000nm)19が形成されている。

【0035】n型のGaAs埋込層19とp型コンタクト層17の上には、p側電極(厚さ:100nm)110が設けられており、基板の裏面にはn側電極(厚さ:100nm)111が設けられている。n型のGaAs埋込層19とp型半導体層との間に形成されるpn接合には、逆バイアスが印加されるので、電流はGaAs埋込層19によって「ストライプ状リッジ構造」内に挟まれて流れる。

【0036】次に、図2(a)から(b)を参照しながら、図1の半導体レーザ装置を製造する方法の一例を説明する。

【0037】まず、図2(a)に示すように、公知の分子線エピタキシャル成長(MBE)法を用いて、基板11上に、n型のバッファ層12、n型の第1クラッド層13、活性層14、p型の第2クラッド層15、p型中間層16、およびp型コンタクト層17を成長させる。

【0038】次に、図2(b)に示すように、公知のフォトリソグラフィおよびエッチング技術を用いて、p型コンタクト層17、p型中間層16及び第2クラッド層15のうちのストライプ状リッジ構造となる部分以外の部分を、選択的に除去する。このようなストライプ状リッジ構造を形成するための工程は、MBE装置内では行えないので、基板11をMBE装置からいったん外に取り出して行う。エッチングによって露出した各半導体層15、16及び17の表面には、エッチャントや大気中の水蒸気、またはマスク材料等がコンタミネーションとして残存する。なお、用いるエッチング技術としては、ウェットエッチング法、ドライエッチング法、またはこれらを組み合わせたエッチング法のいずれを用いても良い。

【0039】次に、再び、基板をMBE装置内にロードして、半導体層の「再成長」を行う。具体的には、第1のAl_{0.5}Ga_{0.5}As層18a、GaAs層18b、第2のAl_{0.5}Ga_{0.5}As層18c、GaAs埋込層19

8

を連続して成長させる。「再成長」の前には、MBE装置内において、前述のコンタミネーションを除去するために清浄化工程を実行する。しかし、完全な除去は不可能なため、ストライプ状リッジ構造の表面と再成長半導体層(第2のAl_{0.5}Ga_{0.5}As層18c)との界面には、非発光再結合中心(界面トラップ)が形成される。

【0040】次に、基板11をMBE装置から取り出した後、ストライプ状リッジ構造の上部を覆うように成長したn型の各半導体層18a、18b、18c及び19の一部を選択的にエッチングする。こうして、図2(c)に示すように、平坦な上面を持つ構造を形成する。このエッチングは、コンタクト層17が露出するまで行う。次に、例えば、スパッタリング法を用いて上記平坦な面上にAu-2n膜を堆積することによってp側電極110を形成し、基板11の裏面にAu-Ge-Ni膜を堆積することによってn側電極111を形成する。この後、半導体レーザ装置の通常の製造工程を経て、図1に示す半導体レーザ装置が製造される。

【0041】以下に、図3(a)及び(b)を参照しながら、可飽和吸収膜18の構成と働きを詳細に説明する。

【0042】本実施例の可飽和吸収膜18は、第1のバンドギャップ(E_{g1}=約2.0eV)を有する第1のAl_{0.5}Ga_{0.5}As層(第1の陸壁半導体層)18aと、第1のバンドギャップよりも小さな第2のバンドギャップ(E_{g2}=約1.42eV)を有するGaAs層(井戸半導体層)18bと、第2のバンドギャップよりも大きな第3のバンドギャップ(E_{g3}=約2.0eV)を有する第2のAl_{0.5}Ga_{0.5}As層(第2の陸壁半導体層)18cとを含んでおり、これらの半導体層によってダブルヘテロ構造が形成されている。このような構造によって、図3(a)に示すようなポテンシャルの井戸が形成されている。このポテンシャルの井戸部分に位置するGaAs層(井戸半導体層)18bは、レーザ光を吸収し、励起キャリアを発生するようなバンドギャップを持つ半導体層から形成される。そのような半導体層であれば、井戸半導体層18bは、GaAs以外の半導体から形成されても良い。

【0043】井戸半導体層18bを挟み込む2つのAl_{0.5}Ga_{0.5}As層18a及び18cは、何れも、井戸半導体層18bがレーザ光を吸収することによって発生した励起キャリアによって、十分な陸壁となる材料から形成されている。Al濃度を調整することにより、Al_{0.5}Ga_{0.5}As層18a及びAl_{0.5}Ga_{0.5}As層18cのバンドギャップを制御し、井戸半導体層18bのバンドギャップに対して、十分大きな高さのポテンシャルの陸壁を形成する。電子についての陸壁の高さは、例えば約0.15eV以上であることが好ましい。陸壁層として機能すれば、2つのAl_{0.5}Ga_{0.5}As層18a及びAl_{0.5}Ga_{0.5}As層18cの組成は、同一である必要はな

(5)

特開平9-181389

9

10

い、

【0044】なお、第1のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18aは、GaAs層18bで生じた励起キャリアが再成長界面上の非発光再結合中心（界面トラップ）によって再結合しないように機能する。このため、第1のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18aは、励起キャリアが再成長界面に到達しない厚さにする必要がある。ただし、第1のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18aを厚くしすぎると、可飽和吸収膜におけるレーザ光の分布強度が小さくなるため、自励発振が生じにくくなる。

【0045】図4を参照しながら、第1のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18aの好ましい厚さの範囲を説明する。

【0046】図4の破線は、図1の半導体レーザ装置において、再成長界面における非発光再結合から影響を受けない程度を示している。言い換えると、破線は、再成長界面による非発光再結合レートの逆数を表現している。第1のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18aの厚さが約1000オングストローム（約10nm）より薄くなると、急激に、再成長界面からの影響を受けやすくなる。このため、第1のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18aの厚さは、約1000オングストローム（約10nm）以上であることが好ましい。また、井戸半導体層18bにおけるレーザ光強度は、そのピーク強度の3分の1程度は必要であると考えられる。図1の半導体レーザ装置の場合、レーザ光の強度がピーク強度の約3分の1程度以下に低下する位置は、再成長界面からの距離が約3000オングストロームを超える位置にある。このため、第1のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18aの厚さは、約1000オングストロームから約3000オングストロームの範囲内に設定されることが好ましい。

【0047】一方、第2のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18cは、励起キャリアがGaAs埋込層19の内部に拡散しないような障壁として機能する厚さであれば良い。第2のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18cの厚さが薄すぎると、励起キャリアは、第2のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18c中をトンネリングする可能性がある。この点から、本実施例の場合、第2のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18cは、約200nm以上の厚さを持つことが必要である。また、障壁層としては、その厚さは約50nmもあれば十分であるので、それ以上厚くしても、キャリア整積の効果はそれほど増加しない。ただし、酸化しやすいAlを含む層は素子劣化防止のためにできるだけ薄くすることが好ましいので、第2のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18cの厚さは、約100nm以下にすることが好ましい。

【0048】GaAs層18bの厚さは、活性層14で発生したレーザ光と十分に相互作用を行い、それによって自励発振を引き起こすような厚さに設定される。レーザ光の強度は活性層14から遠ざかるにつれて低下するため、レーザ光とGaAs層18bとの相互作用の程度は、活性層14とGaAs層18bとの距離に依存す

る。このため、GaAs層18bの好ましい厚さは、活性層14とGaAs層18bとの距離を考慮して最適化される。活性層14とGaAs層18bとの距離が比較的に小さい場合（例えば、約0.10μm）は、レーザ光とGaAs層18bとの相互作用の程度が強いので、比較的に薄いGaAs層（例えば、約15nm）18bであっても、自励発振を引き起こし得る。GaAs層18bを厚くしすぎてレーザ光と相互作用しない位置にまでGaAs層18bの一部が存在したとしても、その部分のGaAs層18bは励起キャリアの発生に実質的には寄与しない。このため、GaAs層18bの表面の位置は、レーザ光の分布強度がピーク値の例えは約30%に低下する位置よりも、活性層14に近い側に配置されることが好ましい。このように、GaAs層18bの好ましい厚さは、第1のAl_{0.1}Ga_{0.9}As層18aの厚さや、第2クラッド層15の厚さに依存する。

【0049】以上説明してきたように、本実施例の半導体レーザ装置は、励起キャリア蓄積領域を持つ可飽和吸収膜18をGaAs埋込層19の下に備えている。このことによって、活性層の厚さを比較的に薄く維持したままで、高温でも安定に自励発振を引き起こすことができる。図8の構造では、活性層の厚さを55nm程度以上にする必要があると考えられるところ、本実施例では、活性層の厚さは40nmとすることができた。その結果、垂直方向放射角θ_⊥を32°程度にすることができた。なお、図8の従来の半導体レーザ装置において、多重量子井戸構造を持つ活性層を採用した場合、発明者の実験によると、井戸層（6nm）の数が7以下では自励発振が生じず、井戸層の数が10以上の場合に安定な自励発振が得られることがわかった。これに対して、本実施例の場合、自励発振の有無は、活性層14の厚さに依存しない。

【0050】図8に示す半導体レーザ装置のGaAs埋込層49も、第2クラッド層45のリッジ部分近傍では、レーザ光を吸収し、励起キャリアを発生している。しかし、図3（b）に示すように、GaAs埋込層49の中でレーザ光の吸収によって生成された励起キャリアの一部は、再成長界面の非発光再結合中にトラップされ、再結合によって消滅する。また、励起キャリアの残りは、再成長界面から遠ざかる方向に、GaAs埋込層49中を拡散していく。この結果、レーザ光の吸収によりGaAs埋込層49中で生成された励起キャリアは蓄積されず、GaAs埋込層49は可飽和吸収領域としては機能し得ない。

【0051】図5（a）は、図3（a）の構成（「内部蓄積領域あり」）および図3（b）の構成（「内部蓄積領域なし」）の両方の場合について、光吸収量のレーザ光強度依存性を示している。図5（a）からわかるように、「内部蓄積領域あり」の場合、光吸収量のレーザ光強度依存性は大きい。一方、「内部蓄積領域なし」の場合は、

(7)

特開平9-181389

11

光吸収量のレーザ光量依存性は小さい。

【0052】図5(b)は、図3(a)の構成(「内部蓄積領域あり」)および図3(b)の構成(「内部蓄積領域なし」)の両方の場合について、励起キャリア数(密度)のレーザ光量依存性を示している。図5(b)からわかるように、「内部蓄積領域あり」の場合、レーザ光量に応じて励起キャリアは顕著に増加するが、「内部蓄積領域なし」の場合は、レーザ光量から増加しても励起キャリア数は小さいままである。

【0053】本実施例では、前述したように、励起キャリアにとってポテンシャルの井戸となる領域をバンドギャップの異なる3つの半導体層(18a、18b及び18c)を積層することによって形成し、それによって再成長層の一部に励起キャリアを蓄積した。しかし、そのようなポテンシャルの井戸を形成するバンド構造は、図3(a)に示すものに限定されない。例えば、可飽和吸収膜18のエネルギーバンドギャップを曲線状に又は多段階に変化させ、それによって励起キャリアを蓄積できる領域(ポテンシャルの井戸領域)を形成しても良い。ただし、そのようなキャリア蓄積領域の少なくとも一部は、レーザ光を吸収するバンドギャップを持つ必要がある。

【0054】また、本実施例の可飽和吸収膜18は、第2クラッド層15の非リッジ部分上だけではなく、リッジ状ストライプ構造の側面上にも存在している。しかし、第2クラッド層15の非リッジ部分上にものみ配置されるようにしていてもよい。

【0055】更に、本発明は、AlGaInP系の半導体材料を用いて製造される場合に限定されない。例えば、AlGaAs系等の材料を用いても良い。

【0056】(実施例2)まず、本発明をAlGaInP系の半導体レーザ装置に適用した他の実施例を図6を参照しながら説明する。

【0057】図6の半導体レーザ装置は、n型(第1導電型)のGaAs基板31と、その上に成長した半導体積層構造とを備えている。

【0058】半導体積層構造は、基板11の側から順に、n型のGaAsバッファ層(n型不純物:Si、不純物濃度: $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ: 500nm) 32、n型の(A_{1-x}Ga_x)_{0.5}In_{0.5}P第1クラッド層(n型不純物:Si、不純物濃度: $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ: 1000nm) 33、GaInP活性層(厚さ: 350nm) 14及びp型(第2導電型)の(A_{1-x}Ga_x)_{0.5}In_{0.5}P第2クラッド層(p型不純物:Be、不純物濃度: 約 $1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ: 1000nm) 35を含んでいる。

【0059】第2クラッド層35は、この実施例では、幅3.5から4.5μmのストライプ状リッジ部分35aを有しており、そのリッジ部分35aの両側は、リッジ部分より薄くなっている。リッジ部分の幅は、水平横

12

方向に沿う利得領域の分布幅、ひいてはレーザ光のビーム幅を決定する。第2クラッド層35のうち、このように薄くなっている部分を、便宜上、クラッド層の「非リッジ部分(35b)」と称することとする。第2クラッド層35の厚さは、リッジ部分35aにおいては、約0.8~1.2μmで、非リッジ部分35bでは、約0.10~0.20μmである。

【0060】第2クラッド層35のリッジ部分35aの上には、p型GaInP中間層(p型不純物:Be、不純物濃度: $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ: 50nm) 16を介して、p型GaAsコンタクト層(p型不純物:Be、不純物濃度: $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ: 500nm) 17が形成されている。第2クラッド層35のリッジ部分35a、p型中間層36及びp型コンタクト層37によって、「ストライプ状リッジ構造」が形成され、電流の狭窄経路となっている。

【0061】ストライプ状リッジ構造の両側面、および第2クラッド層35の非リッジ部分35bの表面は、可飽和吸収膜38によって覆われている。本実施例の可飽和吸収膜38は、井戸層数が3の多重量子井戸(MQW)構造を有している。具体的には、可飽和吸収膜38は、Al_{0.1}Ga_{0.9}As障壁層とGaAs井戸層とを交互に積層したものである。前述した理由により、再成長界面に接するAl_{0.1}Ga_{0.9}As障壁層の厚さは、約10nmを越えるようにすることが好ましい。他のAl_{0.1}Ga_{0.9}As障壁層の厚さには、このような観点からの制約はない。ただ、Al_{0.1}Ga_{0.9}As障壁層の厚さを10nmよりも薄くすると、励起キャリアは、障壁層をトンネリングすることによって、井戸層間を移動しやすくなる。本実施例では、他のAl_{0.1}Ga_{0.9}As障壁層の厚さを4nmに設定した。また、GaAs井戸層の厚さは10nmに設定した。成長界面に接しないAl_{0.1}Ga_{0.9}As障壁層の厚さとしては、4~6nmの範囲内にあることが好ましく、GaAs井戸層の厚さは、8~20nmの範囲内にあることが好ましい。

【0062】本実施例の可飽和吸収膜38は、単に多重量子井戸構造を備えていればよいのではなく、井戸層が、レーザ光を吸収し、それによって励起キャリアを生成するような材料から形成されている必要がある。このような性質を持つ材料であれば、井戸層はGaAs以外の材料から形成されていても良い。

【0063】自励発振のためには、可飽和吸収膜38の励起キャリア寿命をレーザ光の自励発振の周期程度に短くし、それによって、励起キャリアの数の変化を自励発振周期と同じ程度の時間で生じさせる必要がある。自励発振周期は、数ナノ秒程度である。本実施例の可飽和吸収膜38によれば、励起キャリアの変化速度は、2~3ナノ秒程度と比較的に短くなる。これは、ヘテロ界面でのキャリア再結合の影響によって、キャリア寿命が短縮されたためである。本実施例の場合、ヘテロ界面の数が多

(8)

特開平9-181389

13

いため、実施例1の可飽和吸収膜に比較して、より短い時間で励起キャリア数が増加する。その結果、本実施例では自励発振が生じやすくなる。

【0064】また、多重量子井戸構造を持つ可飽和吸収膜38は、その比較的の多いヘテロ界面のために、電流ブロック機能をも併せ持つ。このような可飽和吸収膜38がストライプ状リッジ構造を覆っているため、電流をよりいっそう効率的にストライプ状リッジ構造内に狭窄できる。

【0065】可飽和吸収膜38上には、ストライプ状リッジ構造を埋め込むように、n型のGaAs埋込層（n型不純物：Si、不純物濃度： $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ：800nm）39が形成されている。

【0066】n型のGaAs埋込層39とp型コンタクト層37の上には、p側電極（厚さ：100nm）310が設けられており、基板の裏面にはn側電極（厚さ：100nm）311が設けられている。n型のGaAs埋込層39とp型半導体層との間に形成されるpn接合には、逆バイアスが印加されるので、電流はGaAs埋込層39によって「ストライプ状リッジ構造」内に狭窄されて流れる。

【0067】上述の構成を持つ半導体レーザ装置は、可飽和吸収膜38の形成工程を除けば、図2（a）～（c）を参照して説明した製造方法と同様の方法によって製造される。また、可飽和吸収膜38の形成工程自体は、通常の多重量子井戸層を形成する工程と同じでよい。

【0068】次に、本発明が図8の従来例に対して持つ利点を、図7を参照しながら説明する。従来例では可飽和吸収領域を大きくするために、活性層を厚くする必要があり、そのため垂直方向放射角 θ が大きくなる。しかし、本発明では、可飽和吸収膜の構成やサイズを、活性層の構成やサイズとは独立して決定できるので、自励発振のため活性層を厚くする必要がない。

【0069】また、従来例では、第2クラッド層のドーピングレベルを高くできないので、キャリアのオーバーフローのため、高温動作が困難である。しかし、本発明では、第2クラッド層のドーピングレベルを高くできるので、キャリアのオーバーフローを抑制し、高温動作（例えば、60℃以上）が可能となる。

【0070】なお、上記何れの実施例でも、活性層としてバルク層を用いたが、多重量子井戸（MQW）層を用いても良い。また、光ガイド層で活性層を挟むSCH（Separation Confinement Heterostructure）構造を採用してもよい。

【0071】GaAs埋込層の代わりに、AlGaAs埋込層を用いても良く、これらの埋込層に代えて、抵抗率の高い電流ブロック層を含む構造を設けても良い。各半導体層の導電型についても、上記各実施例の場合に限定されず、それらの反対の導電型であって

もよい。

【0072】

【発明の効果】本発明によれば、活性層の厚さや構造に依存することなく、独立して、可飽和吸収膜の構造やサイズを決定することができる。また、第2クラッド層のドーピングレベルを高くすることができる。このため、本発明によれば、垂直方向放射角 θ を小さく維持したまま、高温で安定に動作する低雑音の自励発振型半導体レーザ装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による自励発振型半導体レーザ装置の実施例を示す断面図。

【図2】（a）から（c）は、図1の自励発振型半導体レーザ装置の製造方法を示す工程断面図。

【図3】（a）は本発明による半導体レーザ装置における再成長界面付近のバンドダイヤグラム、（b）は従来の半導体レーザ装置における再成長界面付近のバンドダイヤグラム。

【図4】第1のAlGaAs障壁層の好ましい厚さを示すグラフ。

【図5】（a）は、レーザ光量と光吸収量との関係を示すグラフ、（b）はレーザ光量と励起キャリア数との関係を示すグラフ。

【図6】本発明による自励発振型半導体レーザ装置の他の実施例を示す断面図。

【図7】本発明による自励発振型半導体レーザ装置と従来例との比較図。

【図8】自励発振型半導体レーザ装置の従来例を示す断面図。

【図9】可飽和吸収膜における励起キャリア数と光吸収量との関係を示すグラフ。

【符号の説明】

11 n型（第1導電型）のGaAs基板

12 n型のGaAsバッファ層

13 n型の（Al_xGa_{1-x}）_{0.1}～_{0.3}In_{0.7}～_{0.9}P第1クラッド層

14 GaInP活性層

15 p型（Al_xGa_{1-x}）_{0.1}～_{0.3}In_{0.7}～_{0.9}P第2クラッド層

15a リッジ部分

15b 非リッジ部分

16 p型中間層

17 p型コンタクト層

18 可飽和吸収膜

18a 第1のAl_xGa_{1-x}As層

18b GaAs層

18c 第2のAl_xGa_{1-x}As層

19 n型のGaAs埋込層

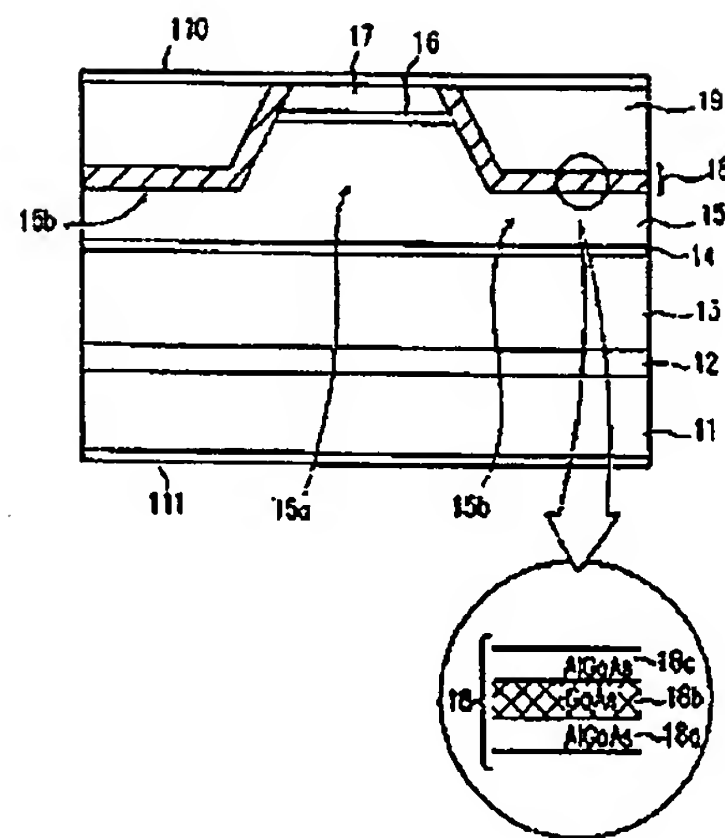
110 p側電極

111 n側電極

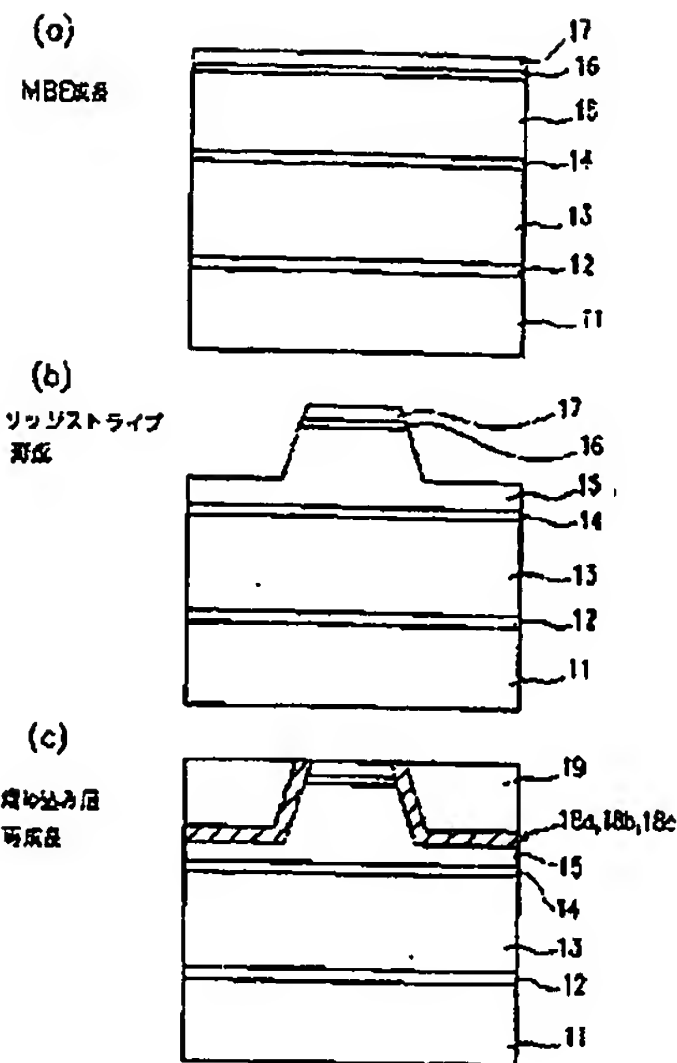
(9)

特開平9-181389

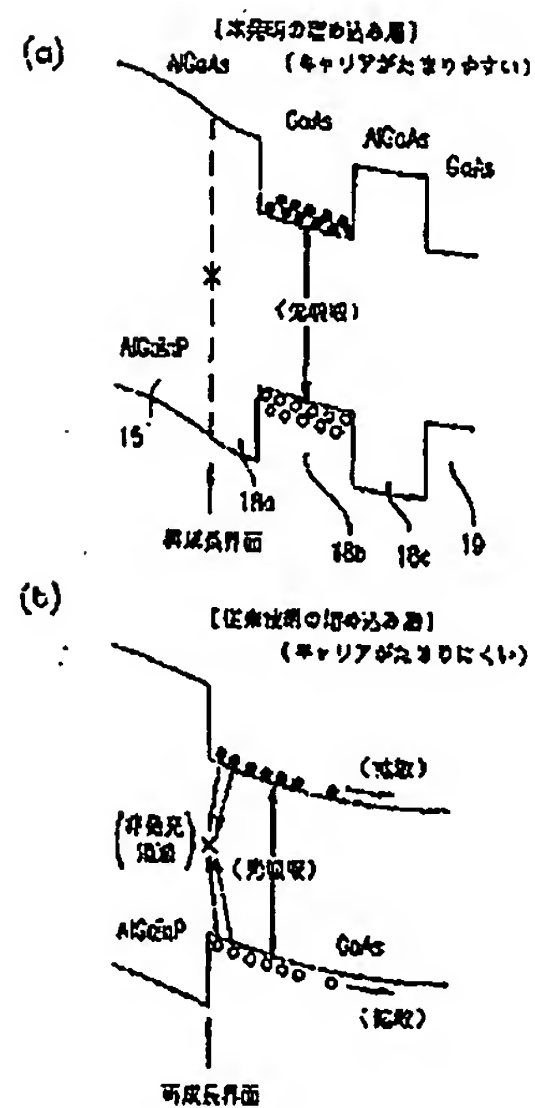
【図1】



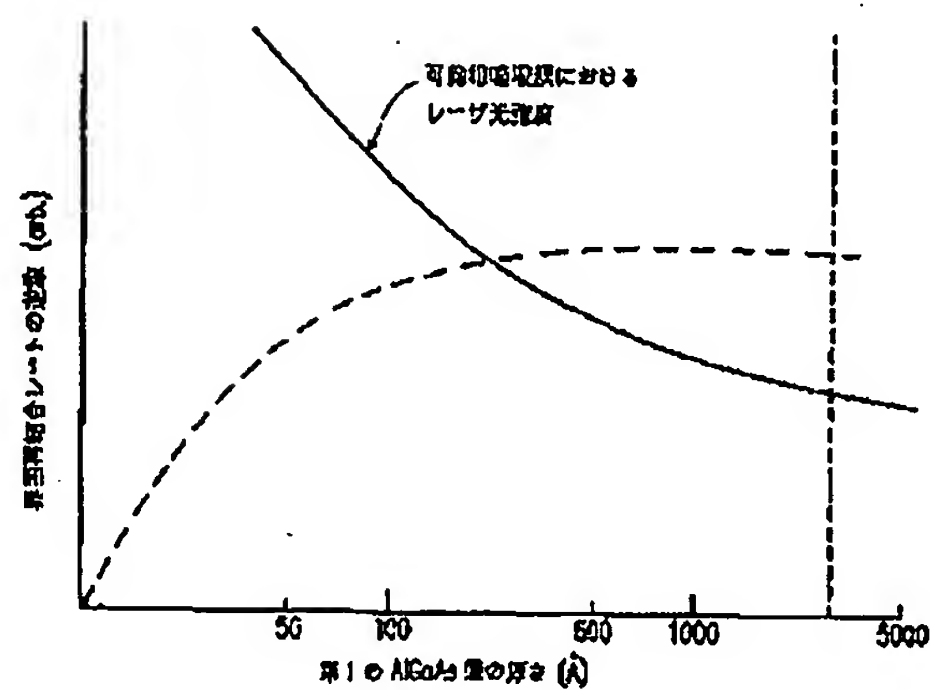
【図2】



【図3】



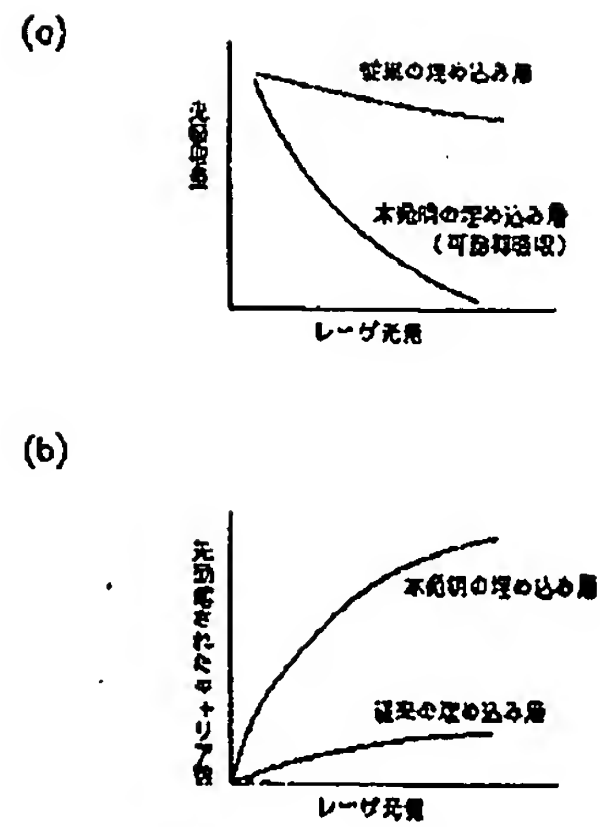
【図4】



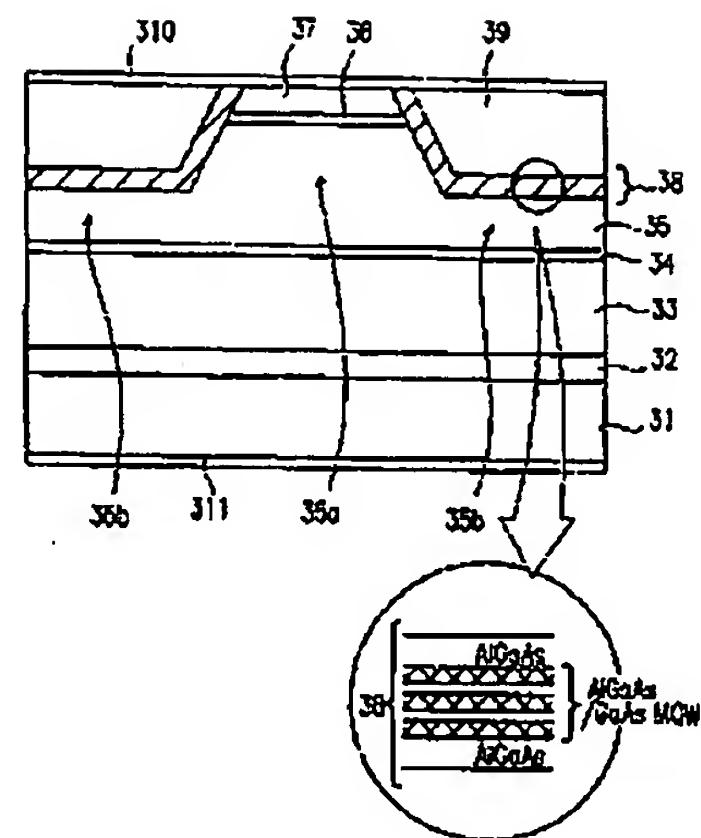
(10)

特開平9-181389

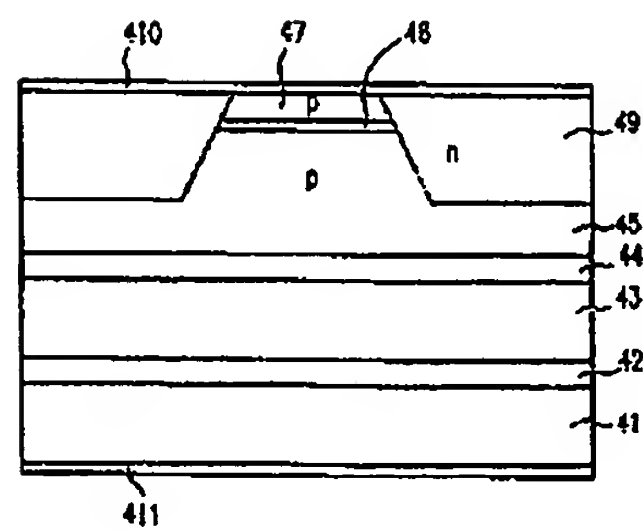
【図5】



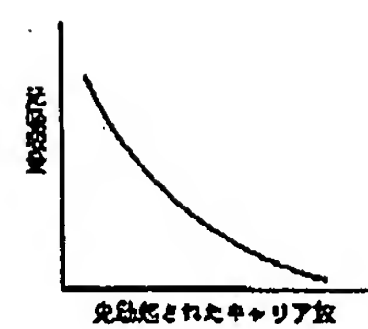
【図6】



【図8】



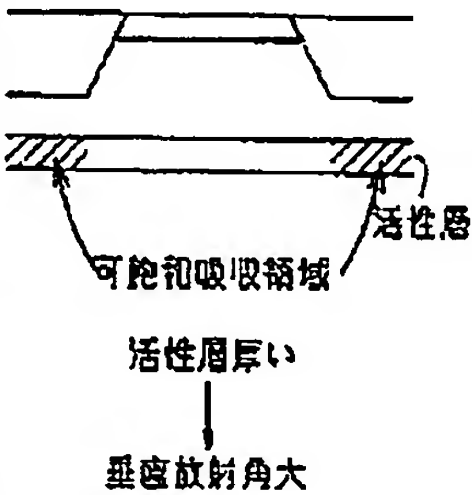
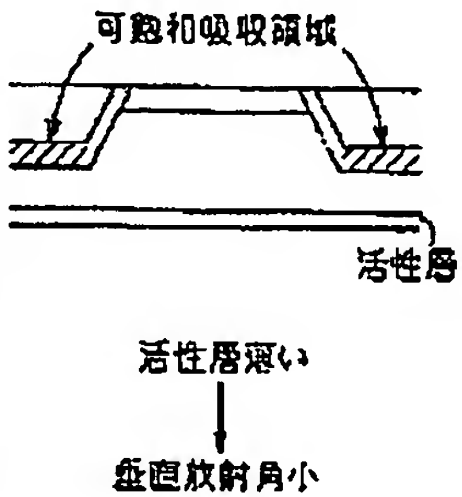
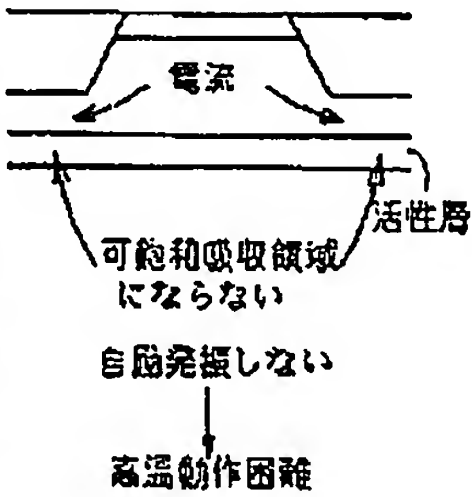
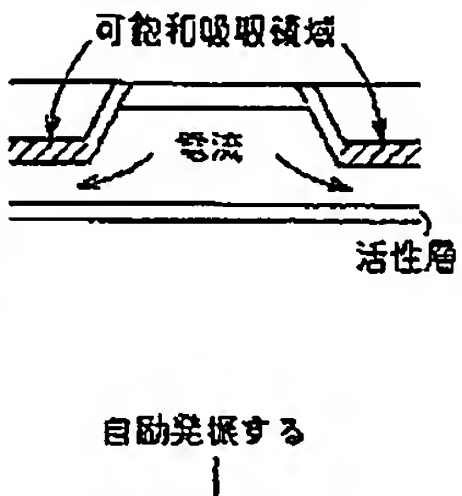
【図9】



(11)

特開平9-181389

【図7】

	従来技術	本発明
可飽和吸収領域を厚くする	 <p>可飽和吸収領域 活性層 活性層厚い ↓ 垂直放射角大</p>	 <p>可飽和吸収領域 活性層 活性層薄い ↓ 垂直放射角小</p>
フロント面から電流を流す	 <p>電流 可飽和吸収領域にならない 自励発振しない ↓ 高温動作困難</p>	 <p>可飽和吸収領域 電流 活性層 自励発振する ↓ 高温動作可能</p>

フロントページの続き

(72)発明者 菅原 直哉
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内